

## **PENGARUH TEMPERATUR TUANG TERHADAP POROSITAS, STUKTUR MIKRO DAN KEKERASAN DARI ALUMINIUM RONGSOK VELG MENGGUNAKAN PENGEORAN EVAPORATIF**

**Fajar Perdana Putra<sup>1)</sup>, Rudi Siswanto<sup>2)</sup>**

<sup>1,2</sup>Program Studi Teknik Mesin

Fakultas Teknik Universitas Lambung Mangkurat

Jl. Akhmad Yani Km. 36 Banjarbaru, Kalimantan selatan, 70714

Telp. 0511-4772646, Fax 0511-4772646

Email: perdanaputrafajar@gmail.com

### ***Abstract***

*The second largest metal material used after steel is Aluminum and its alloys. Ranging from aircraft bodies, vehicles, engine components, ship components, to buildings and very diverse applications using aluminum alloys. Material for making alloy wheels for components in motors using one of the special aluminum alloy applications with regard to the strength and hardness of high-quality aluminum alloys. Industrial companies that make aluminum doors, including windows and frames, make aluminum shelves, storefronts and other products. Produce waste remnants of used aluminum which can be used as aluminum as the main material destination. To reduce the company's production costs, many of them use aluminium scrap as their main casting material. Casting uses a temperature of 650 ° C, 700 ° C, 750 ° C, 800 ° C including casting type evaporative or casting using Styrofoam. The missing styrofoam casting pattern is a casting that uses a pattern of material that can evaporate when exposed to molten metal heat. The casting temperature results can affect microstructure, hardness, porosity and structure.*

***Keywords:*** *Evaporative Casting, Pour Temperature, Wheels, Aluminium Alloys*

### **PENDAHULUAN**

Aluminium difungsikan dalam banyak bidang, salah satunya dalam kabel bertegangan arus tinggi dan juga secara luas dipergunakan dalam dunia otomotif seperti Velg, cylinder head, ditemukan di kendaraan bermotor, mobil, dsb, dan komponen mesin lainnya. Karena aluminium banyak digunakan dalam kehidupan otomotif. Produk yang dapat di daur ulang dan di cor yaitu adalah dari salah satu keuntungan aluminium. Mendaur ulang aluminium *alloys* yang hanya mengkonsumsi energi sebesar 5% dari yang digunakan dalam memproduksi aluminium dari bahan tambang, contoh 95% aluminium yang beredar di benua Eropa, terutama di bagian negara Skandinavia merupakan bahan hasil daur ulang. Meleburkan sampah aluminium adalah proses awal dari kegiatan daur ulang aluminium, hal yang dilakukan tersebut akan menghasilkan endapan. Endapan dari hasil meleburkan sampah aluminium *alloys* dapat di ekstraksi ulang untuk mendapatkan aluminiumnya, dan limbah perpaduannya yang dihasilkan dapat difungsikan sebagai bahan tambahan campuran aspal dan beton sebab merupakan bahan limbah yang sangat berbahaya bagi lingkungan idup dana lam sekitar (Hafizh., dkk, 2009). Daur ulang adalah proses untuk menjadikan suatu bahan bekas menjadi bahan baru dengan tujuan mencegah adanya sampah yang

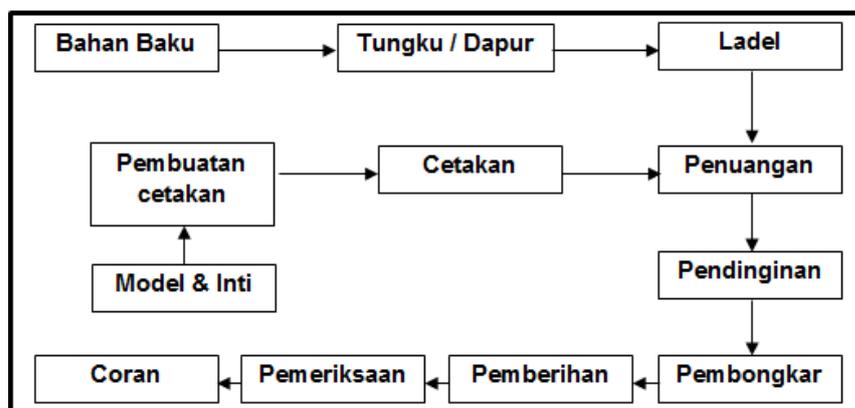
sebenarnya dapat menjadi sesuatu yang berguna, mengurangi penggunaan bahan baku yang baru, mengurangi penggunaan energi, mengurangi polusi, kerusakan Bahan dan emisi gas rumah kaca jika dibandingkan dengan proses pembuatan barang baru. Daur ulang adalah salah satu strategi pengelolaan sampah padat yang terdiri atas kegiatan pemilahan, pengumpulan, pemrosesan, pendistribusian dan pembuatan produk/ material bekas pakai, dan komponen utama dalam manajemen sampah modern dan bagian ketiga adalah proses hierarki sampah 3R (*Reuse, Reduce, dan Recycle*) (Sudira dan Sato.1992).

Temperatur tuang adalah salah satu hal penting yang harus diperhatikan dalam pengecoran aluminium yang berkualitas tinggi, karena faktor ini sangat berpengaruh terhadap kualitas cor yang meliputi mikro struktur dan sifat mekanis sehingga didapatkan hasil cor yang mempunyai sifat fisik yang baik. Temperatur tuang merupakan salah satu variabel dari sekian banyak variabel yang terdapat pada proses pengecoran.

Permasalahan yang sekarang dihadapi creator penulis ingin menelaah dampak *temperature* tuang pada pengujian mikrostruktur, kekerasan dan porositas. Terhadap variabel *temperature* tuang 650°C, 700°C, 750°C, 800°C dan pemanfaatan bahan limbah aluminium velg motor YIMM. Pako menjadi salah satu produk yang bermuatan dari segi ekonomis dan bias difungsikan kembali kedalam bentuk yang berbeda.

### Pengecoran Logam

Menurut peneliti yang bernama pak Murjoko pada tahun 2012 pengecoran Metal merupakan alur proses yang melibatkan ruang lingkup pencairan logam, membuat cetakan, menuang, membongkar dan membersihkan metal. Proses dari pengecoran adalah suatu yang wajib dari proses manufaktur yang mengandalkan bahan logam berbentuk cair dan hasil cetakan untuk komponen *parts* dengan bentuk yang mendasari dari bentuk geometri. Sebab nilai positifnya dapat menghasilkan produk dengan segi bentuk dari yang sederhana sampai dengan kelas yang super rumit dengan massa berat bervariasi. Mulai dari satuan berat gram hingga menembus ukuran berat ton, serta alur *finishing* yang standar sehingga dapat mengurangi pengeluaran biaya dan pemborosan waktu, pada alur ini banyak hal yang digunakan di perusahaan di bidang industri terutama industri otomotif.

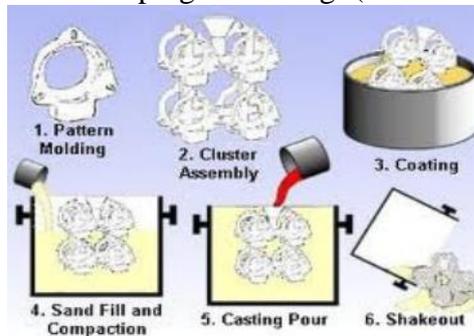


Gambar 1. Diagram alir dari pengecoran

### Pengecoran *Evaporative*

Pada pengecoran jenis *evaporative* atau juga dikenal dengan *lost foam* diperbuat kedalam beberapa tahap. Pengecoran *lost foam* yang dipadukan dengan alur menggunakan alat vakum cetakan (V-Proses) menjadikan jenis pengecoran *evaporative* sebagai landasan dari teknologi manufaktur yang sangat berkembang baik dan memiliki *cost* yang cukup relevan dalam menghasilkan benda yang menyerupai geometri bendanya dibandingkan dengan pengecoran konvensional (Liu., dkk, 2002). Dengan memperhatikan segi dari kerapatan / massa jenis tertentu sesuai yang direncanakan pada pengecoran *lost foam* dimulai dengan membuat pola styrofoam (polystyrene foam). Untuk benda yang kompleks Dalam beberapa aplikasi perhatikan pada bagian-bagian pola dilem untuk mendapatkan bentuk yang lengkap. Dengan rangkaian pola pada dilem menggunakan sistem saluran yang dirangkai dengan solusi menyatu. sistem saluran yang dilakukan pada pengecoran ada beberapa pola, yang dapat dirangkai dalam satu cara. Menurut penelitian brawn 1992: *cluster* adalah istilah sistem saluran yang menggunakan Pola yang telah terangkai. Pengaruh yang paling besar pada saluran masuk bawah akan menyebabkan cacat lipatan (*folded*) dan porositas paling sedikit dibandingkan dengan saluran samping atau atas. Sistem saluran memiliki ketergantungan pengaruh gaya besar terhadap penimbulaan kegagalan pada cacat benda cor. (Karrazi dan Shahmiri, 2007).

Menurut pengalaman dari peneliti Barone 2005: banyak profit yang didapat dari pengecoran *lost foam* dan dari segi ekonomis cetakan pola berbahan polystyrene foam sangat direkomendasikan. Tanpa bahan pengikat hasil dari pasir yang diolah dapat dengan efisien dipergunakan lagi (Behm dkk, 2003).



Gambar 2. Pengecoran *Type Evaporative*

### Aluminium

Aluminium (Al) merupakan logam mempunyai sifat ringan yang pemanfaatannya sangat luas dan ringan juha mempunyai sifat tahan terhadap korosi dan hantaran listrik yang baik. Lebih dari 60 tahun peneliti Sir Humprey Davy pada tahun 1809, menemukan aluminium sebagai suatu unsur dan permulaan direkusi sebagai metal. Saat tahun 1825 peneliti oleh HC Oersted telah menemukan cara yang ekonomis untuk membuat aluminium dari bijih bauksit yang kita tau adalah bahan vital pembuatan aluminium yang terletak didalam lapisan kerak bumi. Pada bagian dalam batuan terdapat aluminium yang masih

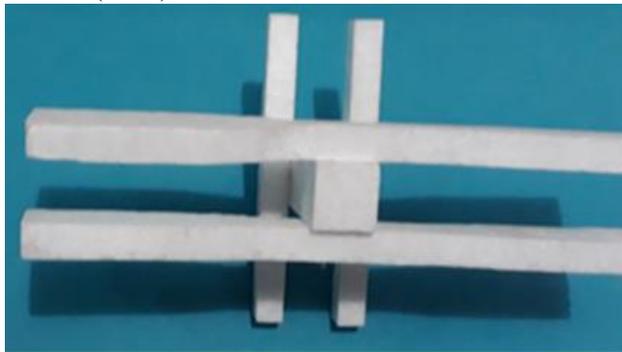
berbentuk silikat yang lebih kompleks dan komponen-komponen lainnya. Sebab komponen aluminium yang begitu spesifik.

Aluminium biasa dipergunakan untuk peralatan rumah tangga, material pesawat terbang, otomotif, kapal laut, konstruksi dan lain-lain. Untuk mendapatkan peningkatan kekuatan mekanik, biasanya logam aluminium dipadukan dengan dengan unsur Cu, Si, Mg, Zn, Mn, Ni, dan unsur lain (Surdia, 1991). Aluminium juga merupakan logam yang banyak digunakan dalam berbagai aplikasi. Produk-produk aluminium sering dihasilkan melalui proses pengecoran (*casting*) dan pembentukan (*forming*). Aluminium hasil pengecoran banyak dijumpai pada peralatan rumah tangga dan komponen otomotif misalnya *velg*, piston, blok mesin, puli dan lain sebagainya.

### Cetakan

Sebelum melakukan penuangan pada bagian – bagian cetakan ada beberapa hal yang perlu disiapkan berupa cairan logam (coran), adalah yang tertera berikut ini :

- Suatu set peraturan (Pola)



Gambar 3. Model Perancangan *Styrofoam*

- Pasir proses (pasir cetak)



Gambar 4. Pasir Cetak

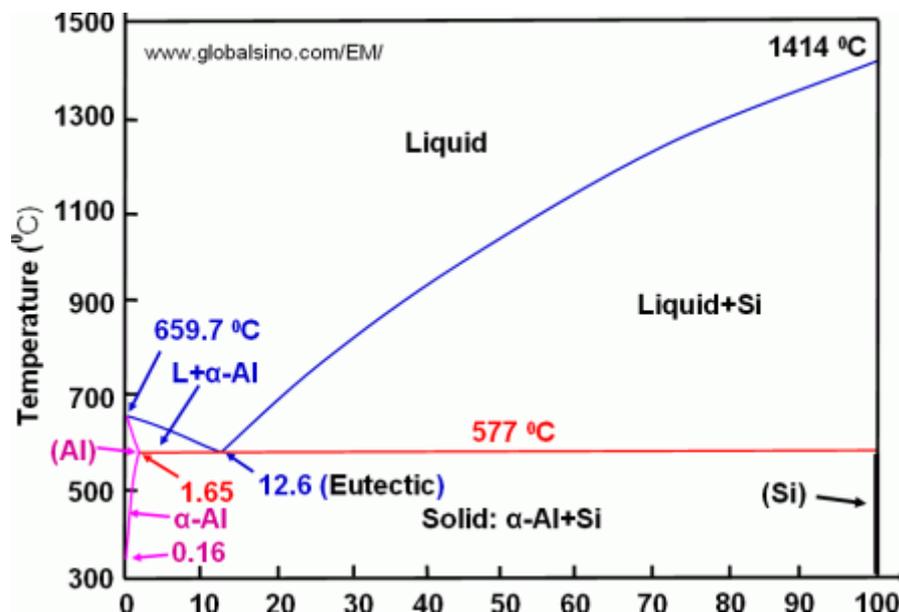
- Rangka proses (rangka cetak)



Gambar 5. Rangka Cetak Dari Kayu

### Suhu Tuang (*Temperature Tuang*)

Temperatur tuang adalah salah satu unsur penting yang harus diperhatikan dalam memproduksi produk pengecoran yang berkualitas tinggi, karena faktor ini sangat berpengaruh terhadap kualitas coran yang meliputi mikro struktur dan sifat mekanis sehingga didapatkan hasil coran yang mempunyai sifat fisik yang baik. Temperatur tuang yang digunakan pada pengecoran Al paduan (*scrap*) adalah temperatur 700 °C (Respati dkk, 2010), temperatur 750 °C (Purwanto dan Mulyonorejo, 2010), temperatur 700 °C dan 650 °C (Suyanto dkk, 2016), 710 °C, 760 °C dan 810 °C (Bahtiar dan Soemardji, 2012), 800 °C, 750 °C, dan 700 °C (Harjanto dan Suyitno, 2008). Temperatur tuang merupakan salah satu variabel dari sekian banyak variabel yang terdapat pada proses pengecoran. Variabel ini penting karena jika temperatur tuang terlalu rendah maka rongga cetakan tidak akan terisi penuh dimana logam cair akan membeku terlebih dahulu pada saluran masuk, dan jika temperatur tuang terlalu tinggi maka hal ini akan mengakibatkan penyusutan dan kehilangan akan keakuratan dimensi coran dari bentuk fasa diagram paduan Al.



Gambar 6. Fasa Diagram Perpaduan Al-Si

Fasa diagram perpaduan Al-Si ini terdapat kandungan material silika dari 3 macam komponen yaitu:

- a. Kandungan material silika nominal kurang dari 11,7% struktur ferrite kaya aluminium dimana struktur akhir yang terakumulasi pada fasa perpaduan AL-Si dengan struktural eutektik sebagai pelengkap yaitu yang dinamakan Hipoeutectic.
- b. Kandungan silika Eutektik apabila yang terkandung didalamnya sekitar mulai nominal angka 11,7% sampai dengan 12,6% pada kandungan ini perpaduan aluminium Al-Si dapat membeku secara langsung dari fasa cair kepadat.
- c. Apabila komposisi zat silika diatas angka 12,6% sehingga tinggi akan kandungan silika dengan fasa eutektik sebagai fasa tambahan yaitu yang disebut *hypereutectic* keberadaan kristal silika primernya pada daerah signifikan ini mempengaruhi karakteristiknya sebagai berikut:
  - 1) Meningkatnya keausan terhadap ketahanan paduan.
  - 2) Perluasan aktivitas termal rendah.
  - 3) Ketahanan retak panas yang sangat direkomendasikan.

### Pengujian Data

#### a. Porositas

Menurut peneliti firdaus 2002 yang mengatakan bahwa Salah satu penyebab terjadinya porositas pada penuangan paduan aluminium adalah gas hidrogen dengan dasar teori porositas yaitu suatu *void* (cacat) pada material cor yang dapat menurunkan kelayakan dari benda tuang tersebut. Gas hidrogen dari proses porositas dalam benda cetak perpaduan material aluminium-silikon akan mentransferkan pengaruh yang negatif pada segi kekuatan dan kesempurnaan dari produk tuang tersebut. Diindikasikan antara lain variabel kontrol tidak memenuhi syarat terhadap absorpsi gas hidrogen oleh paduannya. Hasil gas yang terkandung dalam logam karena kontak langsung terhadap gas dengan metal selama penuangan dan peleburan (Firdaus, 2002).

Berikut rumus untuk menghitung besarnya terhadap porositas suatu material:

$$p_{ap} = p_{liquid} X \frac{w_s}{w_s - w_{sb}} \quad p_{ap} = p_{liquid} X \frac{w_s}{w_s - w_{sb}} \quad (1)$$

Dimana:

$p_{liquid}$  = ukuran massa jenis cairan (gram/cm<sup>3</sup>)

$w_s$  = berat selama di udara (gram)

$p_{ap}$  = massa jenis (gram/cm<sup>3</sup>)

$w_{sb}$  = berat massa didalam air (gram)

Rumus menemukan porositasnya:

$$P\% = \left(1 - \frac{p_{ap}}{p_{th}}\right) \times 100\% \quad P\% = \left(1 - \frac{p_{ap}}{p_{th}}\right) \times 100\% \quad (2)$$

Dimana:

$P\%$  = porositas

$p_{ap}$  = aktual dari massa jenisnya ( $\text{gram/cm}^3$ )

$p_{th}$  = massa jenis yang berlandasan teoritis ( $\text{gram/cm}^3$ )

b. Strukturmikro

Menurut peneliti yang bernama saudara Mu'afax dkk (2012) yang mengatakan: “struktur mikro gambaran dari sekumpulan fasa-fasa yang diamati dengan teknik metoda observasi metalografi. Metalografi adalah pengujian spesimen dengan menggunakan mikroskop atau pembesaran beberapa ratus kali, bertujuan untuk memperoleh gambar yang menunjukkan struktur mikro. Pada hal ini, struktur logam dan paduannya dengan pengujian metalografi kita dapat mengetahui struktur dari suatu logam dengan memperjelas batas-batas butir logam.

c. Kategori Kekerasan *Vickers*

Pengujian kategori kekerasan *Vickers* didefinisikan sebagai beban dibagi luas permukaan lekukan yang menggunakan penumbuk terhadap piramida intan yang teori dasarnya seperti bujur sangkar dengan angka kekerasan piramida intan (DPH) atau kekerasan angka *Vickers* ( $H_v$  atau  $VHN$ ). Perluasan Luas ini dapat konklusikan dari pengukuran mikroskopik panjang diagonal jejak  $VHN$  dapat ditentukan dengan rumus yang terlampir sebagai berikut :

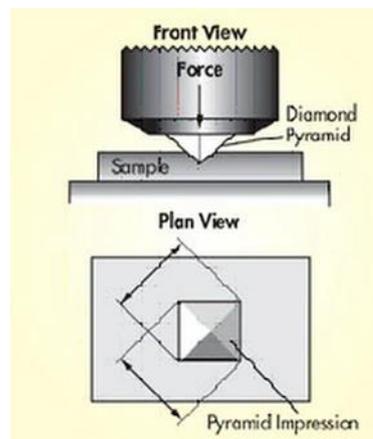
$$VHN = 1,8544 P/d^2 \quad (3)$$

dimana:

$P$  = penetrator intan yang bekerja pada bebannya (kg)

$d$  = diagonal rata-rata bekas penekan dari panjangnya (mm)

Yang diperlukan untuk penekanan adalah dengan waktu selama 15 detik, dengan angka beban 1 – 120 kg. Hasil pengujian, pada lekukan yang akurat dibuat oleh penumbuk piramida intan harus berbentuk sesuai dengan standar yaitu bujur sangkar.



Gambar 7. Indikasi Vickers Indentor

## METODE PENELITIAN

Metoda yang dipergunakan kedalam riset ini adalah metoda eksperimen. Perpaduan Aluminium (*scrap*) produk velg YIMM dan produk Pako dileburkan kedalam wadah *krusibel* kemudian dituangkan. Dengan variabel temperatur (650, 700, 750 dan 800)°C. Selanjutnya cetakan ditahan kedalam bagian pasir cetak dengan estimasi waktu selama 20 menit. Pengecoran (*coran*) yang dibuat dengan spesimen yang terpilih, langkah selanjutnya diujikan di lab. Untuk bertujua mengetahui kekerasan , porositas, dan struktur mikro.

## Prosedur Penelitian

Tahapan kelancaraannya sebuah penelitian yaitu melauai beberapa alur termasuk persiapan. Persiapan atau alur yang dilakukan sesuai standarisasi yang telah dipaparkan dengan jelas sebelumnya yaitu:

### a. Peralatan



Gambar 8. (a) Alat Pembesar Tekanan (Blower Keong)  
(b) Wadah logam lebur Tungku Kursibel

### b. Bahan Material



Gambar 9. Produk Velg YIMM Dan PAKO

## Proses Reduksi Biji (Peleburan) Dan *Casting* (Penuangan)

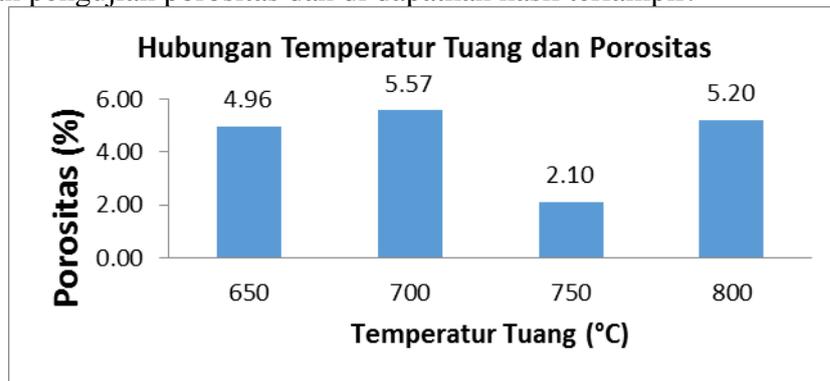


(a) (b)  
 Gambar 10. (a) Peleburan Bahan Mentah (Material)  
 (b) Penuangan Bahan Mentah (Material) Yang Sudah Mencair

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

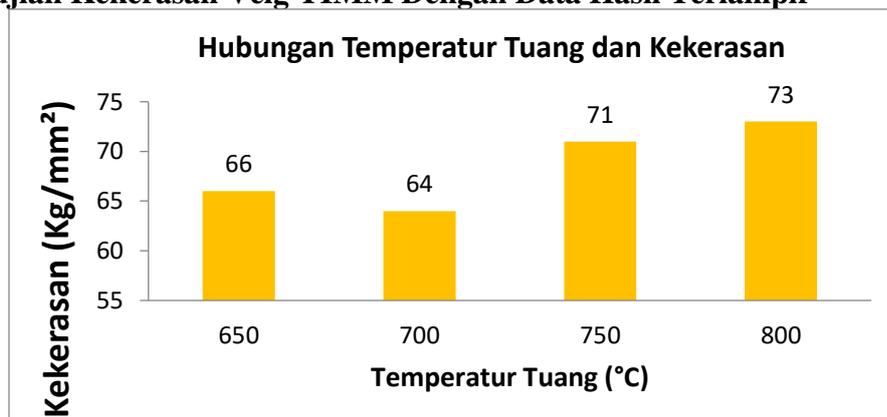
**Pengujian Porositas Velg YIMM Dengan Data Hasil Terlampir**

Untuk mengetahui tingkat kekerasan yang dialami oleh material coran ulang dilakukan pengujian porositas dan di dapatkan hasil terlampir:



Gambar 11. Data Hasil Pengujian Velg YIMM Terhadap Porositas

**Pengujian Kekerasan Velg YIMM Dengan Data Hasil Terlampir**

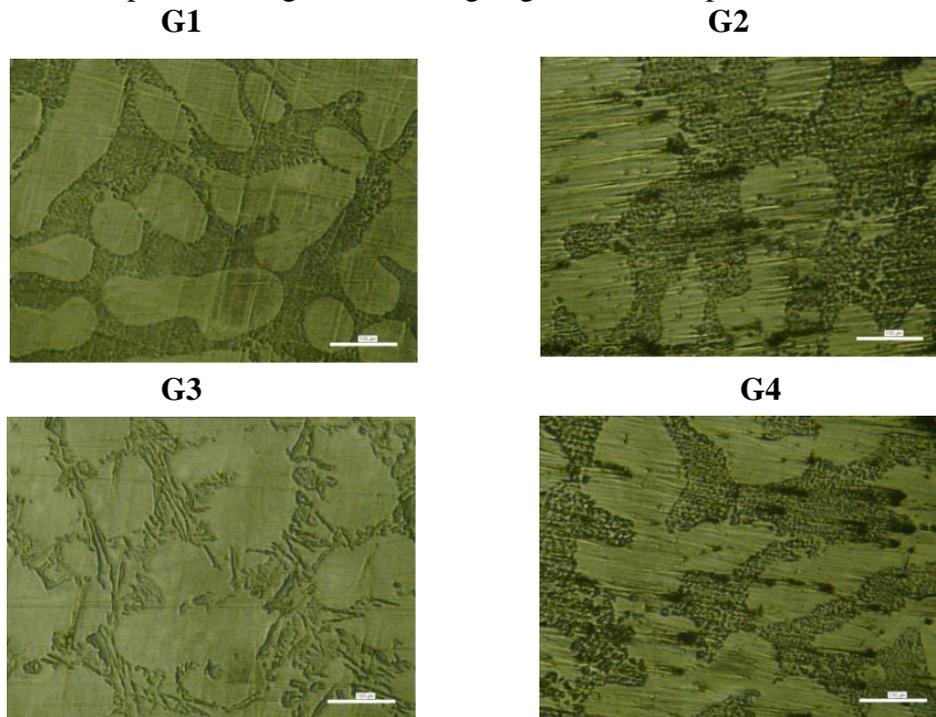


Gambar 12. Hasil Pengujian Kekerasan Velg YIMM

Gambar 12 merupakan hasil pengujian kekerasan dilakukan untuk meneliti tingkat jenjang kekerasan yang dimiliki oleh material coran.

### **Pengujian Strukturmikro Velg YIMM dengan Data Hasil Terlampir**

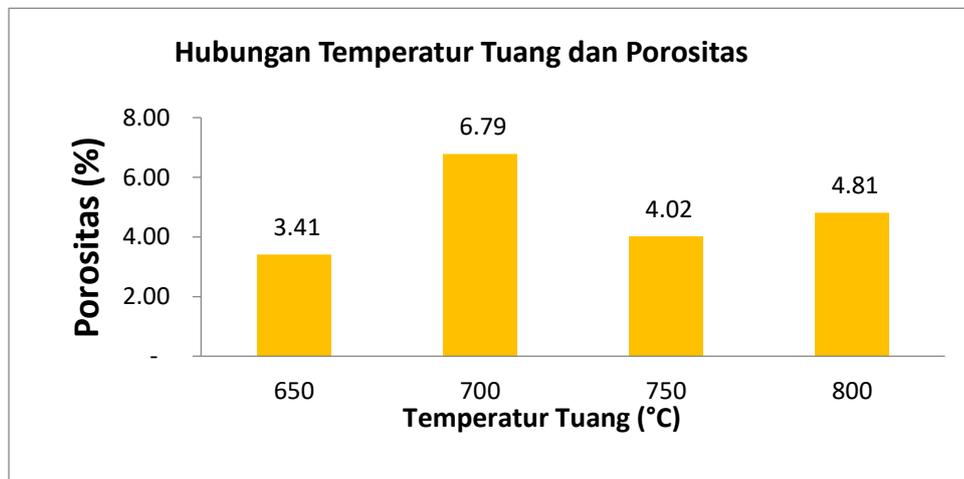
Pengujian struktur mikro dilakukan untuk meriset strukturmikro dari setiap variabel temperatur tuang. Berikut dengan gambar terlampir:



Gambar 13. Hasil Pengujian Strukturmikro velg YIMM

### **Pengujian Porositas Velg Pako Dengan Data Hasil Terlampir**

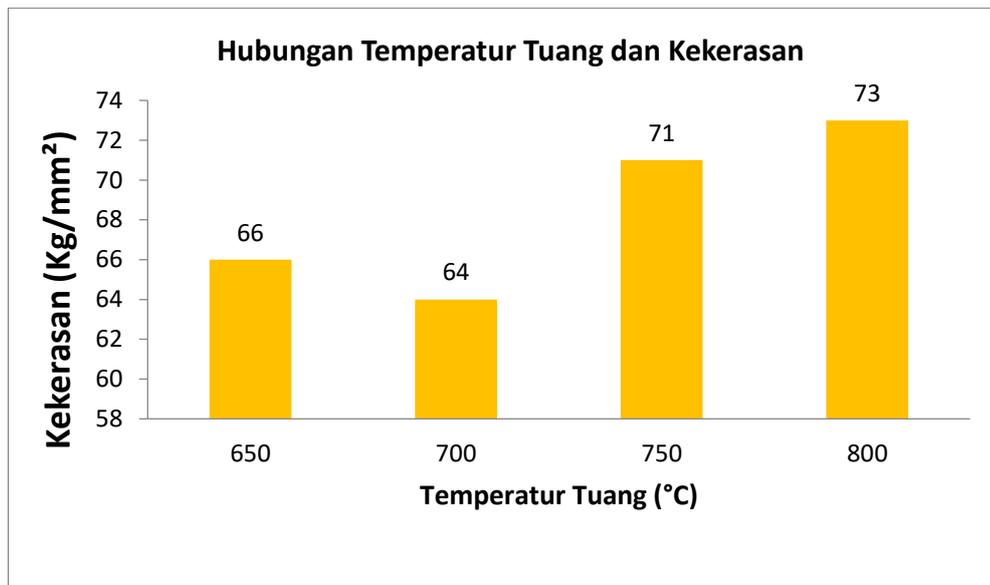
Untuk mengetahui tingkat kekerasan yang dialami oleh material coran ulang dilakukan pengujian porositas dan di dapatkan hasil terlampir:



Gambar 14. Hasil Pengujian Porositas Velg Pako

### Pengujian Kekerasan Velg Pako Dengan Data Hasil Terlampir

Untuk mengetahui tingkat kekerasan yang dialami oleh material coran ulang dilakukan pengujian kekerasan dan di dapatkan hasil terlampir:

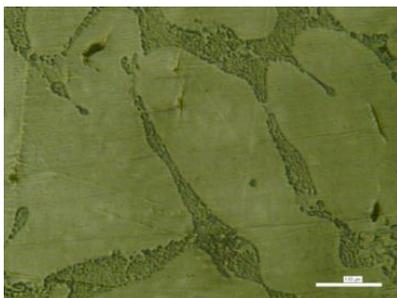


Gambar 15. Hasil Pengujian Kekerasan Velg Pako

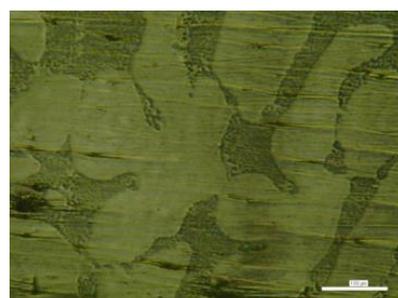
### Data Hasil Pengujian Strukturmikro velg Pako

Pengujian strukturmikro dilakukan untuk mengetahui tingkat strukturmikro yang dialami oleh material coran ulang dan di dapatkan data sebagai berikut:

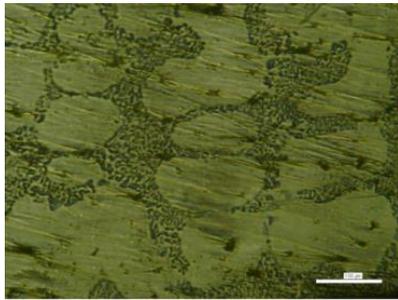
H1



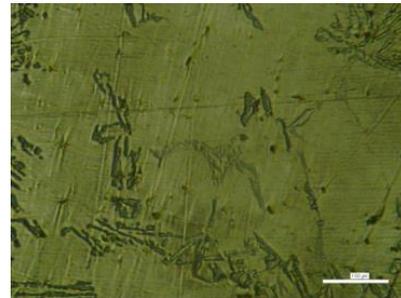
H2



H3



H4



Gambar 16. Hasil Pengujian Mikrostruktur Velg Pako

### Pembahasan

Berdasarkan hasil pengamatan pada foto struktur mikro diketahui bahwa paduan Al memiliki karakteristik yang berbeda-beda pada jenis material velg. Pada material velg YIMM foto G3 memiliki struktur Si berbentuk seperti jarum yang memanjang, hal ini menunjukkan bahwa spesimen kode (G) Al-si yang terlihat pada foto struktur mikro dalam kondisi *Hypoeutectic* yang kaya akan alumuniumnya.

Pada jenis material velg Pako terlihat susunan struktur mikro yang didominasi oleh Al seperti terlihat pada gambar 17 terlihat kandungan selain Al yang membentuk seperti garis-garis kecil yang tersebar tidak teratur dan tidak merata. Dengan adanya perbedaan karakteristik hasil pengecoran Al paduan rongsok (velg YIMM dan velg Pako) dikarenakan temperatur tuang yang berbeda-beda.

### Velg YIMM

Pada variabel temperatur tuang 800°C kekerasan terjadi kembali naik pada angka 93 kg/mm<sup>2</sup> namun kondisi porositasnya juga meningkat signifikan pada angka 5.2% dari gambar 13 dapat dilihat pada material velg YIMM ketika variabel temperatur tuang 650°C mempunyai kasta kekerasan 70 kg/mm<sup>2</sup>. Dengan porositas 4.9% pada temperatur tuang 750°C kekerasan naik menjadi 79 kg/mm<sup>2</sup> dengan porositas yang menurun ke angka 2%.

### Velg Pako

Dari Gambar 15 pengujian pada material velg Pako terlihat semakin rendah. Temperatur tuang semakin turun juga tingkat kekerasannya. Dipermasalahan dari nilai porositas yang meningkat signifikan, namun pada spesimen H2 porositas justru bertambah naik menjadi 6.79% dengan diikuti kekerasan juga yang ikut menurun menjadi 64 kg.

Hasil dari perbandingan uji porositas dan kekerasan pada material sepatu velg motor (Yamaha) mencapai kekerasan tertinggi pada spesimen G4 dengan kekerasan tertinggi dan jumlah porositas 5.2% sedangkan pada material velg motor (Honda) mencapai kekerasan tertinggi pada spesimen H4 dan jumlah porositasnya 4.8%.

Menurut peneliti Raharjo dkk salah satu penyebab terjadinya porositas adalah adanya tingkatan kekerasan tertinggi dan nilai porositas 5% dengan hasil terbaik adalah pada variabel *temperature* 800°C terhadap proses pembekuan dan gas *hydrogen*, yang dibangun dari bagian komponen logam yang saling berkontak langsung dengan cetakan yang mendasari inti kristas mulai menunjukkan perkembangan dan butir-butir itu memanjang. Yang meartikan semakin lama *metal* menjalani pembekuan dalam porositas cetak maka semakin nilainya tinggi (Raharjo dkk 2011). Namun dengan menurut Firdaus penyebab porositas antara lain yaitu control yang kurang sempurna terhadap absorsi gas oleh paduan, pengeluaran gas dari dalam logam, karena interaksi antara gas dengan logam selama peleburan dan penuangan.

### **KESIMPULAN**

Penelitian yang dilakukan dapat dikonklusikan pengaruh variabel temperatur tuang terhadap indikasi porositas suatu coran tervisualkan dari hasil penelitian pada material Velg motor Pako porositas terbaik ada pada temperatur tuang 650°C dimana porositasnya yaitu 3.4%, kemudian Velg motor YIMM porositas terbaik ada pada temperatur tuang 750°C dengan porositas 2.1%.

Temperatur tuang berpengaruh terhadap kekerasan terlihat dari hasil penelitian pada material velg motor YIMM semakin tinggi teperatur tuang maka tingkat kekerasan juga semakin tinggi, kemudian pada meterial velg motor Pako tingkat kekerasan menurun ketika temperatur tuang di naikan dari 650°C ke 700°C, lalu pada temperatur tuang 750° kekerasan sudah mencapai tingkat yang optimal, kemudian naik kembali ditemperatur tuang 800°C.

Penelitian hasil foto struktur mikro pada masing-masing variabel temperatur tuang dan *type* material mengubah bentuk struktur secara visual yang berbeda-beda pada struktur Si setiap hasil pengujian ada yang cenderung berbentuk garis-garis kecil ada yang beraturan dan ada yang tidak, ini membuktikan temperatur tuang bersinggungan yang terfokuskan pada hasil mikro struktur mengecoran aluminium.

**DAFTAR PUSTAKA**

- Bahtiar & Soemardji Leo, 2012, “*Pengaruh Temperatur Tuang Dan Kandungan Silicon Terhadap Nilai Kekerasan Paduan Al-Si*”, Universitas Tadulako
- Barone, M. R., Caulk, D. A., 2005, A Foam Ablation Model for Lost Foam Casting Of Alumunium, International Journal of Heat and Mass Transfer, Vol.48, pp. 4132-4149.
- Behm, S.U., Gunter, K.L. and Shutherland, J.W., 2003, An Investigation into The Effect of Process Parameter Setting On Air Emission Characteristics In The Lost Foam Casting Process, American Foundry Society.
- Brown. J. R., 1992, The Lost Foam Casting process, Metallurgy Material, Vol. 8, pp.550-555.
- Firdaus., 2002, “Analisis Parameter Proses Pengecoran Squeeze Terhadap Cacat Porositas Produk Flens Motor Sungai”, Jurnal Teknik Mesin Vol. 4, No. 1, pp. 6 – 12.